554.94
H36s

Geol. Bibliothek

*Überreicht vom Verfasser.*

# Geologische Nachlese.

Von

**Albert Heim.**

Nr. 24.

## Die Schwereabweichungen der Schweiz in ihrem Verhältnis zum geologischen Bau.

Sonderabdruck aus Jahrgang 61 (1916) der
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.

Ausgegeben am 30. November 1915.

ZÜRICH
Druck von Zürcher & Furrer
1915.

GEOLOGY

554.94
H365
Geol.

# Geologische Nachlese.

Von

Albert Heim.

(Als Manuskript eingegangen am 25. September 1915.)

Nr. 24.

## Die Schwereabweichungen der Schweiz in ihrem Verhältnis zum geologischen Bau.

Hiezu Tafel I.

### I.

Mit den Entdeckungen von Helmert und Sterneck, dass in grossen Gebirgen durch Pendelbeobachtungen ein Massendefekt nachweisbar sei, haben sich auch für die geologische Betrachtung neue Gesichtspunkte ergeben.

Dass im grossen ganzen trotz vielen Unregelmässigkeiten die äusseren Rindenlagen der Erde aus spezifisch leichteren, die tieferen aus sukzessive spezifiisch schwereren Massen gebildet sind, war schon lange erkannt worden: Während das mittlere spezifische Gewicht der Erdkugel 5,6 beträgt, liegt dasjenige der grossen sedimentären Gesteinsmassen nur zwischen 2 und 3, ebenso dasjenige der sauren Eruptivmassen. Basische Eruptiva und ihre metamorphen Derivate können etwas dichter werden. Es gibt Andeutungen dafür, dass dieselben meistens aus grösseren Tiefen stammen, und dass sie mit der Tiefe ihres Ursprungsherdes reicher an Ausscheidungen von Erzen der Schwermetalle (Chromeisen, Magnetit, Eisen, Kupfer etc.) werden. Wir können auch Meteoriten mit den irdischen Gesteinen vergleichen. Es ist hier nicht notwendig, auf alle diese Dinge einzutreten. E. Süss unterschied tiefer als die Sedimente Zonen mit zunehmender Dichte („Sal“, „Sima“) und bezeichnete als „Nife“ die Barysphäre der Erde, die vorherrschend aus Schwermetallen (Nickeleisen etc.) bestehend, wohl die Erde in den inneren $^3/_4$ ihres Radius zusammensetzt. Die Unregelmässigkeiten, die wir in den der direkten Beobachtung zugänglichen Teilen der Erdrinde kennen, sind mannigfaltig, aber insofern einseitig, als hier beschränkte Massen schwerer Gesteine in die leichtere höhere Rinde eingedrungen sind, nicht aber begrenzte Stücke leichterer Massen in den tieferen schweren Teilen liegen. Die Unregelmässigkeiten innerhalb einer Tiefen-

zone sind zudem gering, insofern als die hier gemischten Gesteinsdichten, abgesehen von lokalisierten Erzen, nicht weit voneinander abstehen.

Es scheint darnach, dass wir berechtigt sind, unsere weiteren Betrachtungen aufzubauen auf der Tatsache, dass das Innere der Erde dichter ist als die Rinde und auf der Annahme, dass im grossen ganzen die Dichte nicht allzu unregelmässig in Erdenschalen stufenartig von aussen nach innen zunimmt; ferner dass die Gebirgsdislokationen hauptsächlich nur den äusseren Schalen angehören, die gewissermassen auf den tieferen schwereren schwimmen, und sich bei Zusammenschub von der Unterlage abscheren können, während die letztere dem Druck in ganz anderen Formen ausweicht. Starke Schwereabweichungen müssen also wohl beruhen auf Abweichungen von der regelmässigen konzentrischen Schalenform der verschieden dichten Gesteine. Eine Einsenkung der Schalen verschiedener Dichte wollen wir eine Schweresynklinale, eine Aufwölbung dagegen eine Schwereantiklinale nennen. Die erstere wird, auf Meerniveau bezogen, durch Pendelbeobachtungen eine zu geringe, die letztere eine zu grosse Schwere erkennen lassen — dort ein Massendefekt, hier ein Massenüberschuss.

Schon früher hatte ich aus der Übertiefung der Gebirgstäler und ihrer Aufschüttung mit Alluvionen oder Wasser („Talseen", „Randseen") auf eine Einsenkung des schon durchtalten Gebirgskörpers in einer letzten Phase der Gebirgsbildung geschlossen. Aufgehäufte Massen aus dislozierten leichteren Rindenteilen sind dadurch an Stelle tieferer schwerer Massen getreten, woraus der im Gebirge beobachtete Massendefekt sich erklärte, während zugleich als Ursache der Einsenkung die Überlastung durch Dislokationshäufung zu erraten war. Die Einsenkung und dadurch die Ausbildung einer Schweresynklinale musste annähernd so weit gehen, bis die Differenz im Gewichte der verdrängten schwereren Tiefenmasse und der an ihre Stelle eingesunkenen, weniger dichten Masse das aussen vorragend noch gebliebene Gebirge gewissermassen schwimmend wieder zu tragen vermochte. Wir können in dieser theoretischen Gleichgewichtsbetrachtung noch einen Schritt weiter gehen und sagen: Wenn später die Verwitterung das an der Aussenfläche vorragende, bereits statisch ausbalancierte Gebirge mehr und mehr abträgt, so wird an Stelle der Einsenkung infolge der Entlastung wieder eine Hebung eintreten können. Damit wird der Massendefekt dieses Gebirges wieder abnehmen, und es ist denkbar, dass er sich im Gebiete der Narben alter, tief abgetragener Gebirge allmälich in einen Massenüberschuss umkehrt: Die Schweresynklinale wölbt sich in die

Höhe, bis sie zur Schwereantiklinale geworden ist. Wo also obere Teile der Erdrinde durch Dislokation mächtig zusammengedrängt und gehäuft sind, werden die leichteren Massen eine Verdickung

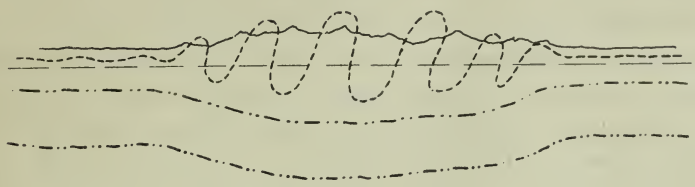


Fig. 1. Schema eines Gebirgsprofiles mit Massendefekt.

Gebirgsoberfläche

Meerniveau

Faltung der Schichten

Verlauf der Flächen gleicher Dichte.

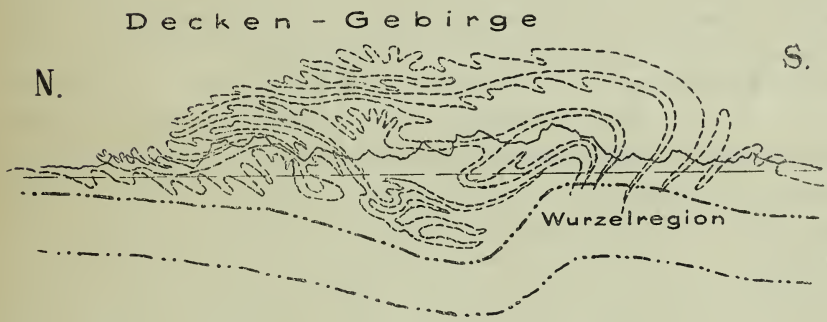



Fig. 2. Schema eines Gebirgsprofiles mit Deckfalten und starkem Massendefekt (z. B. Alpen).

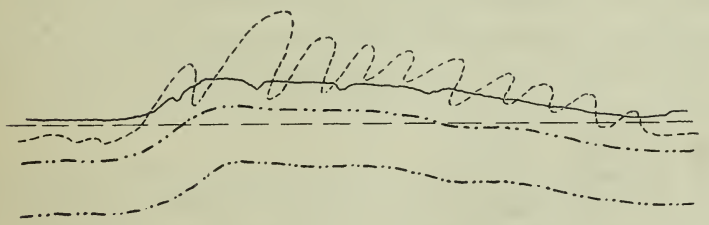


Fig. 3. Schema eines Gebirgsprofils mit Schwereüberschuss (z. B. Schwarzwald).

auch nach unten und die Barysphäre eine kessel- oder grabenförmige Einbiegung, eine Synklinale ihrer Oberfläche aufweisen, es wird Massendefekt vorhanden sein. Wo dagegen die tiefsten Teile der Erdrinde nach aussen vorragen, da wird auch die Barysphäre eine dem Gebirge entsprechende Antiklinale bilden und der Oberfläche

näher treten, da werden wir auf ein bestimmtes Niveau bezogen, einen Massenüberschuss über das Mittel, eine Schwereantiklinale finden. Massendefekt ist zu erwarten in allen noch vorhandenen Gebirgen aus Sedimentgesteinen und leichteren metamorphen Gesteinen, die durch Horizontalschub in der Erdrinde entstanden sind, ferner in Senkungsfeldern; Massenüberschuss ist zu erwarten in Horsten, in Gebirgen, die durch Vertikalhebung entstanden sind, in tief abgetragenen Narben verschiedener, ganz alter Gebirge („Rumpfgebirge"). Zur Verdeutlichung dieser Vorstellungen seien hier einige schematische Profile gegeben, welche unsere Gedanken über das Verhältnis von Gebirgsbau zur Schwere kundgeben.

Das sind vorerst nichts als tastende Gesichtspunkte und Fragen. Es muss noch viel über Schwereabweichungen beobachtet werden, bis dieselben durchgeprüft und als ganz oder teilweise richtig oder als irrtümlich bezeichnet werden können. Es sind auch schon eine Anzahl von Gebieten auf diese Gesichtspunkte hin diskutiert worden.

Die Geodätische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft hat für die Schweiz die Schweremessungen übernommen und organisiert und die Resultate in ihren Sitzungs-Protokollen und Jahresberichten publiziert. Zuerst wurden die Schweremessungen von Ingenieur Dr. Messerschmidt, später von Dr. Th. Niethammer ausgeführt. 1914 wurde eine Karte mit den Kurven gleicher Schwereabweichungen als Resultat der Beobachtungen 1900—1913 gegeben. Seither ist noch einiges erweitert worden. Für 1915 und 1916 ist das Gebiet der Kantone Glarus und St. Gallen (Oberland) zur Bearbeitung in Aussicht genommen. Ost-Graubünden und Süd-Tessin werden den Schluss bilden. Die grosse Beobachtungsarbeit ist also noch nicht abgeschlossen, sie bietet indessen schon heute Resultate, welche zu einer vorläufigen Betrachtung nach geologischen Gesichtspunkten herausfordern. Wir stützen uns hierin ganz und ausschliesslich auf die kartographische Darstellung von Th. Niethammer, die wir in einer etwas modifizierten und vereinfachten Wiedergabe mit gütiger Erlaubnis der Geodätischen Kommission hier beilegen.

Zur Erklärung der Karte (s. Taf .I) dient folgendes: Die hier gegebenen Schwereabweichungen sind alle auf Meerniveau reduziert. Die Kurve O verbindet alle Punkte der als normal angenommenen, also der mittleren Schwere. Die Kurven mit dem Vorzeichen + gehören den Gebieten mit Schwereübermass, diejenigen mit dem Vorzeichen — solchen mit zu geringer Schwere (Massendefekt) an. Die den Schwereabweichungskurven in den Darstellungen der Geodätischen Kommission zugrunde gelegten Zahlen $(g''_0 - \gamma_0)$ drücken die Schwereab-

weichung in Längenveränderung des Sekundenpendels aus. Sie können aber in eine für unseren Zweck viel leichter vorstellbare Form umgesetzt werden, wie das schon Messerschmidt gezeigt hat. Die gleichen Zahlen in einer andern Potenz von 10 können uns Gesteinsmasse bedeuten, ausgedrückt in Mächtigkeits-Metern einer Gesteinsschicht von 2,4 spezifischem Gewicht, welche unter den Füssen des Beobachters im Meerniveau zu viel (+) oder zu wenig (—) vorhanden ist, um die normale Schwere zu erzeugen. Unsere Kartenskizze gibt diese Isogammen von 100 zu 100 m Dicke der Gesteinsschicht von 2,4 spezifischem Gewicht, die zur Ausgleichung auf normale Schwere nötig wäre, an. Wir verweisen hier bezüglich der Beobachtung am Pendel, der Rechnung und Umrechnung auf die eingehenden Darstellungen in den Publikationen von Dr. Messerschmitt und Dr. Niethammer, und betonen noch die Relativität der Zahlen.

Niethammer hat schon wiederholt, so z. B. in einem Vortrage vor der Naturf. Gesellschaft bei der Jahresversammlung in Glarus (Verhandlungen der Schweiz. Naturf. Gesellschaft 1908) auf die Beziehungen der Schwereabweichungen zum geologischen Bau hingewiesen, und damit unser heutiges Thema berührt. Ebenso ist dies auch schon durch mich geschehen. Die seitherige Ergänzung der Messungen erlaubt uns nun weiter zu gehen und Allgemeineres zu überblicken.

Bisher sind die Schweremessungen mittelst Pendel an zirka 180 Stationen der Schweiz ausgeführt worden. Selbstverständlich wäre in manchen Gebieten, z. B. in der Umgebung des Rheingrabenbruches, des Ostabbruches des Randen, in der Zone der subalpinen Molasse und im Molasselande überhaupt etc. ein dichteres Beobachtungsnetz sehr wünschenswert, um die Beziehungen zur geologischen Struktur genauer ermitteln zu können. In einem dichteren Netz von Punkten werden die Kurven den geologischen Bau noch besser nachzeichnen. Wir sind für unsere Betrachtungen zunächst ganz auf das bisher Gewonnene, vorläufige Kurvenbild angewiesen.

## II.

Wir finden Übereinstimmung oder doch deutlich verständliche Beziehungen zwischen den Schwereabweichungen und dem geologischen Bau in einer ganzen Anzahl von Erscheinungen, die hier, soweit ich sie sehen kann, genannt werden sollen.

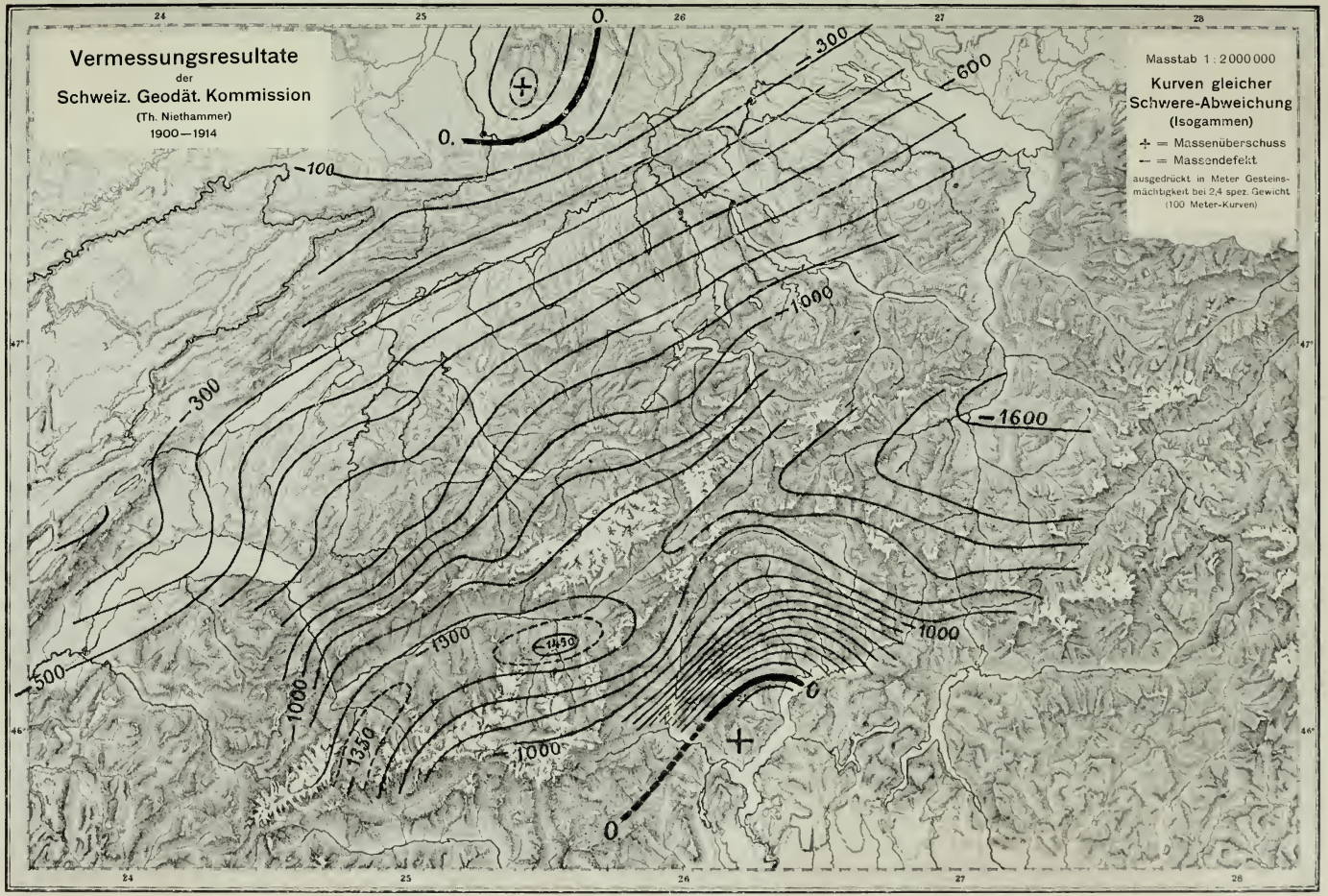
1. Der Schwarzwald vom Rhein an nördlich und östlich hat Schwereüberschuss und die Schwerekurven laufen fast wie Horizontalkurven. Allerdings war der Schwarzwald ein paläozoisches Faltengebirge. Allein er ist dann durch Verwitterung tief abgetragen

worden und nachher versunken und ist erst am Schlusse der Jurazeit, besonders während der Tertiärzeit durch eine relative, rein vertikale Hebung wieder zum Gebirge geworden. Dass unter dem gehobenen alten Rumpfe die schwereren Teile mitgehoben sind, ist schon aus dem Gebirgsbau wahrscheinlich und die Überschwere ist die Folge dieser tertiären Hebung. (Vergl. Figur 3.)

2. Vom Schwarzwald fallen die Schichten gegen die Alpen bis unter den Südrand der Molasse fast beständig ein. Die Überlagerung mit jüngeren Schichten nimmt gegen SSE beständig zu. Sie mag über der Linie Luzern-Thun 2000 bis 3000 m mehr betragen, als am Südabhang des Schwarzwaldes bei Laufenburg. Ganz in Übereinstimmung damit steht eine auffallend gleichmässige Zunahme des Massendefektes vom Schwarzwald gegen die Alpen, wobei die Kurven gleicher Defekte von SW nach NE parallel dem Jura und dem Alpenrande streichen.

3. Recht auffallend ist schon auf den ersten Blick, dass der Massendefekt vom Schwarzwald gegen die Alpen in einer Regelmässigkeit zunimmt, als ob der Kettenjura gar nicht vorhanden wäre. Eine Verbreiterung der Kurvendistanz nördlich des Rheines gegen NE und westlich Delsberg gegen SW ist wohl verständlich durch die in diesen Richtungen sich verbreiternden, plateauförmigen Zonen des Juragebirges. Dass der Kettenjura auf die Massendefektzunahme gegen SSE anscheinend gar keinen Einfluss hat und nicht einmal etwa wie eine Schwelle in diesem Gefälle wirkt, scheint mir dadurch erklärt zu sein, dass der Kettenjura durch eine Abscherungsfläche vom tieferen Untergrunde getrennt ist. Seine Faltung greift nicht in die krystalline Tiefe hinab. Vielmehr hat sie sich über der vom Molasseland gegen den Schwarzwald aufsteigenden Abscherungsfläche im Salzton (mittlerer Muschelkalk) nur durch Ausweichen von Falten nach oben vollzogen. Die tiefen dichteren Massen und ihre obere Begrenzung machen bei der Jurafaltung nicht mit. Der Kettenjura liegt nur oben auf und beeinflusst die Schwere, reduziert auf Meerniveau nicht. Was über Meerniveau steht, ist durch die Reduktionsrechnungen aus unserem Isogammenbilde ausgeschaltet. Dadurch, dass der Massendefekt vom S-Fuss des Schwarzwaldes bis tief in die Alpen hinein unter Kettenjura, Molasseland und helvetischen Alpen ganz gleichmässig zunimmt, ist auch angedeutet, dass der Jura zu den Alpen gehört, ein Stück Alpen ist.

4. Nach den neuesten Messungen machen die Kurven gleicher Schwereabweichungen bei Yverdon-Vallorbe eine scharfe Ausweichung nach S. Diese Ausweichung oder Schleppung läuft harmonisch mit der Kettenschleppung am grossen Querbruch von Vallorbe–Pontarlier




abgeschlossen IX. 1915.

*Alb. Heim, Geolog. Nachlese Nr. 24.*

Digitized by the Internet Archive
in 2017 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign Alternates

https://archive.org/details/dieschwereabweic00heim

und verlängert diesen Querbruch in die Molasse hinein. Vielleicht ist dieses örtliche Zusammentreffen in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Querverschiebung.

5. Das in die Augen springendste Ergebnis der schweizerischen Schweremessungen besteht darin, dass das ganze Land vom Südfuss des Schwarzwaldes bis nach Locarno Massendefekt hat, also eine gewaltige Schweresynklinale bildet. Dabei ist sehr stark die Unsymmetrie im Alpenbaue ausgesprochen. Das Molasseland samt Jura erscheint nur als das Vorland der Alpen. Die Zunahme des Massendefektes ist am NNW-Abhange vom Schwarzwald durch Jura und Mittelland bis tief in die Alpen hinein ziemlich gleichmässig und allmählich. Die Isogammen laufen dem Alpenstreichen parallel, sind also durch die Alpen geleitet. Die Linie des stärksten Massendefektes läuft im grossen ganzen auf der Talfurche Chur–Martigny oder wenig südlich daneben. Etwas genauer bezeichnet geht diese Scheitellinie des alpinen Massendefektes oder die alpine Schweresynklinale vom Grossen St. Bernhard über Châble, Usegne, Stalden (Nicolai), Furka, Urserental, Vorderrheintal, Chur und Davos. Die Abnahme des Massendefektes ist von dieser Linie aus gegen S viel rascher als gegen N. Da drängen sich die Isogammen zu einem drei- bis viermal steileren Gefälle. Also auch in der Schwereänderung ist der Nordabfall der Alpen langsam vermittelt, der Südabfall steil.

6. Das Querprofil des Massendefektes durch die Alpen ist gegenüber dem orographischen Querprofil gegen N verschoben. Der Alpenmassendefekt reicht von Locarno bis fast Basel, das Gebirge dagegen, den kleinen Seitenzweig Jura abgerechnet, von Chiasso bis Luzern. Der südlichste Teil der Alpen ist eben nicht mehr gefaltetes Sedimentgebirge oder Deckenland, er ist zu tiefer Narbe abgetragenes Wurzelland, seine Schichten steigen steil aus der Tiefe auf. Es gilt dies für die Berge an der NW-Seite des Lago Maggiore, und für einen Teil des „Seengebirges", wo Schwereübermass und Struktur vergleichbar und symmetrisch zum Schwarzwald sind.

7. Von grosser Bedeutung scheint mir die auffallende Tatsache zu sein, dass die südlichste Zone der Alpen Massenüberschuss hat. Diese scharfe Differenz zwischen der Überschusszone und der Defektzone wäre nach den Kenntnissen, wie wir sie vor 20 Jahren über den Bau der Alpen gehabt haben, ein unverständliches Rätsel. Heute aber erscheint sie uns als die notwendige Folge der Teilung der Alpen in Wurzelland und Deckenland. Unter dem Wurzelland war Aufsteigen der tieferen Massen in der Erdrinde vorhanden, unter dem Deckenland Eindrücken derselben. Die Einseitigkeit der alpinen

Tektonik in der Schweiz wird dadurch auffällig wiedergegeben und jede Theorie, die von einer Art Verschlucken von Streifen der Erdrinde in den Mittelzonen als Ursache der Entstehung der Alpen phantasierte, ist dadurch zugunsten des einseitigen Tangentialschubes widerlegt.

8. Im Wallis ist sehr deutlich, dass der Schweredefekt in den Deckenmassiven des Grossen St. Bernhard und der Dent Blanche am stärksten ist. Da ist eben eine liegende Falte über die andere geschoben und die ganze Häufung der liegenden Falten von Trias, Karbon und krystallinen Silikatgesteinen (Argands Profile) ist 25 bis 30 km dick und greift 20 bis 25 km tief unter Meerniveau hinab. Gegen den Rand der autochthonen Massive (Mont Blanc, Aarmassiv) nimmt er ab und ist in den „autochthonen" Massiven durchweg gleich, aber geringer als im Gebiete der höheren Deckenmassive. Dabei schmiegen die Kurven gleicher Schwereabweichungen ihre Formen genau nach der Grenze zwischen autochthonen und Deckenmassiven. Der Unterschied der beiden Massivarten zeichnet sich dadurch in den Schwereabweichungen deutlich ab. Im Deckenmassiv haben wir hier 100 bis 200 m mehr Massendefekt. Wären die Zentralmassive der südlichen Walliseralpen autochthon, so würde dort der Massendefekt wahrscheinlich geringer sein. Die Schweremessungen bestätigen also den Deckenbau der penninischen Region.

In der Diskussion, welche sich am 14. September in der geologischen Sektionssitzung der Schweiz. Naturf. Gesellschaft in Genf an meinen Vortrag knüpfte, hob Argand hervor, dass der grösste Massendefekt in den penninischen Alpen nicht da sich befinde, wo jetzt die Deckenauftürmung noch am mächtigsten ist, sondern etwa 12 km nördlicher, wo sie vor dem stärksten Erosionsabtrag am mächtigsten gewesen sein muss.

9. Zwischen Gotthardmassiv und Aaremassiv liegt die synklinale Zone des Urserentales aus jüngeren Gesteinen tief hinabgefaltet. Auf dieser Zone wird der Massendefekt grösser als in den beidseitigen „autochthonen" Zentralmassiven. Die Schweresynklinale läuft durch die Urserenmulde. Es kann das die direkte Folge der Mulde sein und die Mulde muss wohl sehr tief gehen.

10. Die östliche Zone grossen und grössten Massendefektes streicht durch das Bündneroberland und wird noch kräftiger gegen Osten. In diese Zone hinein legen sich weiter östlich, stets tiefer einsinkend, die höchsten alpinen Decken — die ostalpinen — hinein, so dass diese nun im Oberflächenniveau des Gebirges liegen. Das ist der tiefst-eingedrückte Teil der Schweizeralpen mit den höchsten Decken erhalten. Erst unter dem Rhätikon und unter der Silvretta

verborgen könnten eventuell die Fortsetzungen der helvetischen und penninischen Kalkalpen liegen. Da sollte also — wegen des Sinkens der Decken gegen Osten — der grösste Massendefekt folgen. Tatsächlich zeigt der bisher östlichste Beobachtungsort dieser Zone, Davos, den grössten bisher in der Schweiz gemessenen Massendefekt. Es steht dies im schönsten Einklange mit dem longitudinalen Sinken der Decken gegen Osten und mit der dortigen ungeheuren Uebereinanderschichtung mit jüngeren höheren Überschiebungsfalten, die in der Mittelschweiz fehlen. Der tektonische Höhenunterschied ist wohl derart, dass die Gesteinsmassen nördlich Locarno, fortgesetzt unter Davos, über 10 km tiefer zu suchen wären.

11. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die nordwärts gerichtete Einbuchtung der Schwerekurven in den Alpenkörper hinein im Tessin. Diese Einbuchtung legt sich in ihrem südlichsten Teil auch einigermassen an die hier in die Alpen eingebuchtete Streichrichtung der Schichten und Falten. Allein im nördlichen Tessin schneidet sie die Streichrichtungen und hat eine ganz andere Ursache. Im nördlichen Tessin nämlich liegt die Kulmination in der longitudinalen Höhe der alpinen Deckfalten. Die hier abgewitterten höheren Deckfalten setzen westlich und östlich davon in stets grösserer Entfernung in den erhaltenen Gebirgskörper eine nach der andern ein. In den Tessineralpen steigen die tiefsten Teile des ganzen alpinen Bauwerkes am höchsten hinauf und deshalb wird auch dort in der Tiefe dichteres Material am nächsten liegen, deshalb dort grössere Schwere als im gleichen Streichen weiter östlich oder westlich. Vor dem Berninagebirge erholen sich die Schwerekurven wieder von der Tessinereinbuchtung, weil im Berninagebirge die Unterlage wieder viel tiefer liegt und das Gebirge aus höheren Decken aufgehäuft ist.

12. Aus dem Bild der Schwereabweichungen, wie es uns heute vorliegt, wird recht deutlich, dass im allgemeinen die tektonischen Höhen und Tiefen, wie sie in den Querprofilen der Alpen wechseln, nur in einer sehr ausgeglichenen, abgeschwächten Art fühlbar sind, während die Schwankungen in den tektonischen Höhen in der Längsrichtung viel stärker in der Schwerewirkung zum Ausdruck kommen. Bei den letzteren handelt es sich eben um weiter ausgedehnte Änderungen, im Querprofil dagegen um unregelmässigeren, kürzer gedrängten und im Sinne wechselnden und wiederholten, vielleicht oft nach unten durch Abscherungsflächen begrenzten Wechsel, der gemischter wirkt und sich in ein Mittel ausgleicht.

13. Hie und da scheinen auch kleinere einzelne Erscheinungen in der Ausdehnung einer Decke in dem Verlauf der Schwerekurven Ausdruck zu finden. So biegen Schwerekurven zwischen Aaretal

und Genfersee wie der Kettenbogen der Préalpes gegen NW aus. Westlich der untern Walliser Rhone biegen alle Schwerekurven wie das Streichen der Schichten und Falten stark gegen S um. Der Nordrand des Aarmassives wird durch eine Verlangsamung in der Schwereabnahme gegen S bemerkbar.

14. Wir können auch noch, allerdings nur in ganz vorläufiger Art, den tektonischen Bau mit den absoluten Beträgen des gemessenen Massendefektes vergleichen. In dieser Richtung ist zunächst zu bedenken, dass nirgends direkt Rindenmaterial von 2,4 spez. Gewicht an diejenige Stelle versetzt worden ist, wo früher Barysphäre von der Dichte z. B. 6 lag. In einer Schweresynklinale ist zuerst in den höheren Zonen Material von z. B. durchschnittlich 2,7 spez. Gewicht an Stelle von solchem von der Dichte 3, getreten. In grösseren Tiefen folgt dann vielleicht Gestein von Dichte 3 wo früher solches von 3,5 war. Erst in vielleicht Hunderten von Kilometern Tiefe kommen wir zu Vertausch von Gesteinen mit Dichte 5 durch solche mit 4 1/2. Die Differenzen gegenüber dem Normalen sind in jeder Tiefe immer nur von geringen Beträgen und sie wirken auf die Schwere an der Oberfläche um so weniger, je tiefer sie liegen. Aber je grösser die Tiefe ist, in welcher ein Massenüberschuss oder Massendefekt sich findet, um so weiter wird der Umkreis an der Erdoberfläche, auf welchem er sich als Schwereanomalie fühlbar macht. So muss in der Wirkung auf die Schwere an der Erdoberfläche ein Ausgleich der nach Betrag und Ausdehnung kleineren Massenvariationen entstehen und die Isogammen geben deshalb nur eine sehr generalisierte, summarische und verschwommene Abbildung der Massenungleichheiten in der ganzen Erdrinde, projiziert auf Meerniveau. In den grossen Tiefen werden Schwereantiklinalen und Synklinalen durch Fluktuationen ausgeglichen sein.

Aus dem Deckenbau der Regionen von Davos oder der südlichen Walliseralpen, also der Gebiete des maximalen Massendefektes, können wir entnehmen, dass die tektonische Schweresynklinale eine Tiefe von wohl 5000 bis 10000 m und mehr haben muss. Bis unter diese Tiefe hinab liegen jetzt Gesteine, die durchschnittlich ein um 1/4 bis 1/2 geringeres spezifisches Gewicht haben mögen, als es sonst normal in den jeweiligen Tiefenstufen vorherrscht. Der Massendefekt würde also einer Gesteinsschicht von 5000 bis 10000 m Dicke vom spezifischen Gewicht 0,25 bis 0,5 entsprechen. Das ist, umgerechnet in Gestein von 2,4 spezifischem Gewicht, eine Gesteinsschicht von 520 bis 2080 m Mächtigkeit. An den genannten Orten Wallis–Davos beträgt der aus den Pendelbeobachtungen berechnete Massendefekt 1450 bis 1600 m Gestein von 2,4 spezifischem Gewicht. Wir sehen

hieraus nur so viel, dass die alpinen Massendefekte wenigstens in ihrer Grössenordnung mit dem vollständig übereinstimmen, was wir theoretisch nach dem tektonischen Bau erwarten müssen. Vielleicht gelingt es später, in solcher Art genauer rechnend vorzugehen und sogar aus den Schweremessungen zu berechnen, ob gewisse Decken in der Tiefe noch vorhanden seien oder aussetzen. So kann vielleicht dereinst die Messung der Schwereabweichungen unsere Einsicht in den Gebirgsbau vertiefen.

## III.

Anders, als wir es erwartet hatten, hat sich das Bild der Schwereabweichungen, wie mir scheint, in folgenden Punkten ergeben:

Vom Schwarzwald bis tief in die Alpen hinein ist die Zunahme des Massendefektes eine unbegreiflich gleichmässige. Dass der Jurarand sich darin nicht abzeichnet, ist, wie oben gezeigt, begreiflich. Dagegen hätten wir eine dichtere Drängung der Kurven, eine deutlicher stärkere Zunahme des Massendefektes am eigentlichen Alpenrand unter der subalpinen Molasse oder unter ihrer Grenze gegen die Kreidedecken erwartet. Statt dessen verschmelzen die Alpen durchs Molasseland langsam in den Jura auslaufend als ein zusammengewachsener Körper. Einzelne Mulden, einzelne Gewölbe beeinflussen die Verteilung der Schwere nicht. Jede Spur eines Alpennordrandes gegen das Molasseland fehlt in den Schwereerscheinungen. Wir müssen wohl darin erkennen, dass die letzte alpine Einsenkung auch ganz allmälich von den Alpen gegen N ausgeklungen hat. Das stimmt allerdings gut überein mit dem Auslaufen einzelner Seen (Bodensee und Zürichsee) so weit hinaus und mit dem Vorhandensein der diluvial eingedeckten tieferen Flussrinnen bis in den Plateaujura hinaus. Vielleicht liegt auch unter manchen Teilen der nördlichen Alpen eine Abscherungsfläche ähnlich wie unter dem Jura.

Eine andere Erklärung liegt vielleicht im folgenden: Der Massendefekt unter dem Alpenkörper liegt so tief, dass die nach oben ausstrahlende Schwerewirkung sich stark verbreitert, sich mit den Wirkungen schmälerer wechselnder Gesteinszonen mischt und diese völlig übertönt. Die Schwereabweichungen können wegen des tiefen Sitzes ihrer Ursache nur ein breitsummiertes, ausgeglichenes, kein fein gegliedertes Abbild des tektonischen Baues geben.

Eine ganz ähnliche Enttäuschung bringt uns das Schwerekurvenbild darin, dass die „autochthonen“ Zentralmassive sich nur gegen S, aber kaum gegen N durch grössere Schwere aus den umgebenden Defektzonen herausheben. Die Schwere ist in ihnen nicht, wie zu erwarten gewesen wäre, grösser, sondern noch geringer als in den nörd-

lich anliegenden Kalkalpen, wenn sie auch an der Nordschwelle des Aarmassives etwas langsamer gegen S abnimmt als sonst. Auch hier wieder eine verwunderliche Ausgleichung, ein stumpferer, ungegliederterer Abfall gegen N als gegen S. Wenn auch hohe Deckenmassive (St. Bernhard, Dent Blanche, Bernina, Silvretta) grösseren Massendefekt zeigen als die autochthonen Zentralmassive, so ist doch meine Hoffnung nicht in Erfüllung gegangen, dass die Schweremessungen ein ganz klares, bestimmtes Hülfsmittel sein würden, autochthone krystalline Massive von krystallinen Deckenmassiven zu unterscheiden.

Angesichts dieser Wirkungsschwäche der autochthonen Zentralmassive auf die Schwere wirft sich die Frage auf, ob dieselben vielleicht nicht mehr auf ihrer schweren Wurzel stehen, sondern aufrecht stehend, von ihrer Wurzel abgeschert und verschleppt worden seien. Damit eröffnet sich ein merkwürdiger Ausblick: Unterscheiden sich vielleicht die „autochthonen" Zentralmassive von den Deckenmassiven dadurch, dass sie von ihren Wurzeln nicht nur durch Erosion, sondern durch Abquetschen oder Abscheren ganz getrennt worden sind, und dass sie, statt jüngeren Sedimenten überfaltet und überschoben zu werden, mit samt der Sedimenthülle, die in der mesozoischen und Tertiärzeit sie überwachsen hat, aufrecht stehend nach Norden geschoben worden sind. Unter der Zone mit rascher Schwerezunahme oder gar mit Schwereüberschuss, 30 bis 50 km südlicher, liegen vielleicht die geköpften Wurzeln der autochthonen Zentralmassive in schweren Narben dicht nördlich vor den Wurzeln der Deckenmassive. Die Schweremessungen geben das Tiefenbild der Tektonik, die geologische Tektonik dasjenige der oberen Rinden. Ähnlich wie die Unabhängigkeit der Schwereabweichungen vom Kettenjura durch die dem Jura unterliegende Abscherungsfläche bedingt sein wird, ist es vielleicht eine noch viel tiefere Abscherungsfläche, welche die „autochthonen" Zentralmassive so einflusslos auf die Schwereabweichungen in den Alpen gemacht hat, und welche die Zentralmassive von ihren schweren Wurzeln abgeschoben hat. Ein grosser Unterschied gegenüber dem Jura bliebe darin bestehen, dass der Kettenjura überhaupt ohne tiefe Wurzeln als Oberhaut der Erdrinde gefaltet worden ist, während die „autochthonen" Zentralmassive der Alpen wohl mit ihren Wurzeln unter die Abscherung in die Zonen grösserer Dichte hinabgegriffen und dort schwerere Wurzelzonen zurückgelassen haben. Ob es je möglich sein wird, durch die Schwereabweichungen ein so genaues Bild der Lagerung der Massen zu gewinnen, dass für die einzelnen „autochthonen" Zentralmassive ihre Wurzel erkennbar sein wird, ist sehr fraglich.

Die Idee, dass auch die „autochthonen" Zentralmassive möglicherweise nicht mehr an ihrer Wurzel haften, ist schon früher von Schardt und von Lugeon ausgesprochen worden. Schardt neigt zu der Auffassung, die „autochthonen" Massive seien die fächerig gestellten abgequetschten und vorgeschobenen Stirnpartien der tieferen krystallinen Deckfalten.

Indessen ruft ein Argand'sches Querprofil durch die Alpen von Bern durch Aarmassiv und Dent Blanche bis an den Südfuss der Alpen auf den ersten Blick noch einer vielleicht einfacheren Erklärung für die Wirkungslosigkeit der „autochthonen" Zentralmassive. Die penninische Deckenfaltung mit ihren 25 bis 30 km Dicke und ihren nördlichen Vorschüben ist im Vergleich zu der ca. 5 bis 8 km tief reichenden Aarmassivfaltung so enorm überwältigend, dass dagegen das autochthone Zentralmassiv selbstverständlich verschwinden muss. Das letztere erscheint nur wie eine unbedeutende Begleitwelle der erstern. So wurde denn auch in der Diskussion am 14. IX. 15 betont, dass die Schwereabweichungen für den Gedanken einer Abscherung auch der autochthonen Zentralmassive durchaus nicht zwingend sind, sondern auch hier Ausgleichung der Wirkung und Übertönen der schwächeren Zone durch die viel stärkere, die Erklärung zu bieten vermag. Wir müssen also vorläufig die Frage offen lassen, ob die geringe Abzeichnung der autochthonen Zentralmassive in den Schwereabweichungen begründet sei durch Wegquetschung von ihren Wurzeln oder durch ihre geringe Grösse im Vergleich zum Tiefgang der südlich anliegenden Deckenmassive.

Innerhalb des Gebietes der penninischen Alpen, so betonte Argand, fällt auf, dass das Monte Rosa-Massiv sich in den Schwereabweichungen gar nicht abzeichnet. Es verschmilzt wie tektonisch so auch in seiner Schwerewirkung mit der St. Bernhardsdecke und der Dent Blanchedecke zu einer in sich verfalteten Rindenmasse.

## IV.

Über das noch nicht mit Schweremessungen bedachte Gebiet dürfen wir wohl einige Erwartungen anssprechen. Es wird von Interesse sein, dieselben später bestätigt oder widerlegt zu sehen.

Wir erwarten, dass der Massendefekt im Osten von Graubünden noch zunehme. Im Silvrettamassiv dürfte er noch stärker als in Davos werden, und dadurch die Deckennatur des Silvrettamassives sich aufs neue bestätigen. Der grösste alpine Massendefekt ist vielleicht erst ausserhalb der Schweiz in den Ostalpen vorhanden.

Die Schwerekurven dürften sich, dem longitudinalen Absenken der helvetischen Decken vom Calanda über Sargans bis Buchs und

dem östlichen Einsetzen der ostalpinen Decken entsprechend, von Flims, Tamins und Chur ziemlich stark nach Norden biegen und erst durch Liechtenstein und Vorarlberg wieder gegen Osten wenden.

Sollten diese Erwartungen sich nicht erfüllen, d. h. der Massendefekt östlich nicht mehr zunehmen und die Isogommen im Rheintal auch nicht gegen S–N-Richtung auskrümmen, so müsste daraus geschlossen werden, dass die helvetischen Decken auf der Rheintallinie nach ihrem raschen Absenken gegen Osten zugleich überhaupt aufhören oder nur noch in schwachen Massen unter die ostalpinen Decken fortsetzen.

Südlich des Berninamassives ist über den Talweg des Veltlins hinaus eine ziemlich dichte Drängung der Isogammen, eine ziemlich rasche Abnahme des Massendefektes gegen S zu erwarten. Ein steiles Umkippen von Massendefekt in Massenüberschuss ist auch irgendwo südlich im Gebiete des Veltlines, W–E streichend, zu erwarten, und auch dort wird sich zeigen, dass der Massendefekt der Alpen schon in ihren südlichen Gebirgszonen, das sind die Wurzelzonen, nicht erst am Südfusse des Gebirges überhaupt, umschlägt in Massenüberschuss. Wie sich dann der letztere beim Übergang in die Poebene verhalten wird, wage ich nicht zu prophezeien. Es kann sein, dass die alpine Wurzelhauptzone als eine Zone von Massenüberschuss in langer Erstreckung anhält, während sie nördlich von der Defektzone der Deckenfalten, südlich von einer Defektzone der Synklinale der Poebene begleitet wird. Vielleicht folgt auf den Massenüberschuss südlich Locarno noch im Gebiete der Schweiz gegen Chiasso und die Poebene hin wieder eine Abnahme der Schwere.

Ob die „periadriatischen Eruptivstöcke", das Granitmassiv der Albigna, die ihnen zugeschriebene Jugendlichkeit auch mit grösserer Schwere bekräftigen, ist noch nicht erkennbar.

Zum Schlusse dürfen wir wohl sagen, dass die Schwereabweichungen in unserem Lande, wie sie von der Schweiz. Geodätischen Kommission gemessen und dargestellt worden sind, im ganzen unsere neueren Auffassungen über den geologischen Bau unseres Landes bestätigen, insbesondere, dass sie mit dem Deckenbau im Einklang stehen; und ferner, dass sie uns über manche Fragen der Überlagerung von Decken oder des Aussetzens tieferer Decken und über die Abgrenzung der Wurzelzonen noch weitere Andeutungen versprechen. Die Geologie ist unserer Geodätischen Kommission für ihre Schweremessungen sehr dankbar und hofft auf Fortsetzung und Ergänzung derselben.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 073315779